

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Oestermann, Florian; Mudersbach, Christoph

Trendanalysen von Niedrigwasserkennwerten an Deutschen Flüssen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107557>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Oestermann, Florian; Mudersbach, Christoph (2021): Trendanalysen von Niedrigwasserkennwerten an Deutschen Flüssen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserbau zwischen Hochwasser und Wassermangel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 65. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 317-326.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Trendanalysen von Niedrigwasserkennwerten an Deutschen Flüssen

Florian Oestermann
Christoph Mudersbach

Niedrigwasserkennwerte beschreiben das Niedrigwasserverhalten an Flüssen. Deren langjährigen und kurzfristigen Trends können Indikatoren für eine Verschärfung von Niedrigwasser in bestimmten Regionen sein. Durchgeführte Trendanalysen zeigen Indizien für eine Verschärfung der Niedrigwassersituation in Deutschland, liefern aber auch Argumente, die gegen eine Veränderung der Niedrigwassersituation sprechen. Grundsätzlich sollten bei der Trendanalyse der Niedrigwasserkennwerte die Sprungstellen und Autokorrelationen entfernt werden, da es sonst zu Verfälschungen kommen kann.

Stichworte: Niedrigwasserkennwerte, Trend, NM_7Q

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren (2003, 2011, 2015 und 2018/2019) konnten deutschlandweit Dürreperioden festgestellt werden (Hellwig, 2019). Dürre spiegelt sich unter anderem in Niedrigwasser wider (Smakhtin, 2001). Die Auswirkungen von Niedrigwasser sind vielfältig und betreffen vor allem die Gewässerqualität, die Wassernutzung, die Wasserversorgung und die Schifffahrt (KLIWA, 2018). Niedrigwasserkennwerte beschreiben die Ausprägung von Niedrigwasserperioden und sind ein gutes Maß für eine flächenmäßige Abschätzung in Deutschland. Niedrigwasserperioden sind unter anderem durch ihre Unterschreitungsdauer und das Abflussdefizit charakterisierbar. Diese Kennwerte sind von einem vorher festzulegenden Schwellenwert abhängig. Eine schwellenwertunabhängige Niedrigwasserkenngröße ist der Niedrigwasserabfluss NM_xQ . Dieser beschreibt das niedrigste arithmetische Mittel von x aufeinanderfolgenden Tagen bezogen auf den mittleren Tagesabfluss innerhalb eines Zeitabschnittes. Er lässt sich für eine kleinere Zeitspanne $x = 7$ Tage oder auch für mehrere Monate z.B. $x = 90$

Tage berechnen. Bei zunehmender Tagesanzahl steigt jedoch auch der Einfluss von abflussstärkeren Tagen (*DVWK, 1983*).

Bormann und Pinter (2017) beschreiben die Trends für Niedrigwasserkennwerte in Deutschland. In den Untersuchungen wurden jedoch keine Sprungstellen innerhalb der Zeitreihen und Autokorrelationen berücksichtigt. Die Sensitivität verschiedener Einflüsse auf die Niedrigwassertrends soll im Folgenden dargestellt werden. Grundlage der Untersuchung wird der Niedrigwasserabfluss NM_xQ sein. Es erfolgt eine Variation der x zu mitteilenden Tage, der Zeitreihenlänge und die Betrachtung der Sprungstelle und Autokorrelationen in den Zeitreihen und deren Auswirkungen auf die Trends in Deutschland.

2 Daten und Methoden

2.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die Trenduntersuchungen werden die Tagesmittelwerte des Global Runoff Data Centre (GRDC) verwendet. 149 Pegel weisen eine lückenlose Abflusszeitreihe vom 01.04.1957 bis 31.03.2016 auf. Über 2016 hinausgehende Daten sind derzeit nicht verfügbar, sodass die Dürrejahre 2018 bis 2020 nicht in den Daten vorhanden sind. Die Ermittlung der Niedrigwasserkennwerte erfolgt anhand des Wasserhaushaltsjahres, welches am 01.04. eines Jahres beginnt und am 31.03. des Folgejahres endet. Daher umfassen die Trendanalysen 58 Jahre.

2.2 Methoden

Grundlage für die hier durchgeführten Trendberechnungen ist der Niedrigwasserabfluss NM_xQ , welcher für jedes Wasserhaushaltsjahr berechnet wurde. Die sich ergebenden jährliche Serien werden nachfolgend auf Trends untersucht. Dabei wird die Steigung des Trends mittels des Sen's slope Estimator berechnet (*Sen, 1968*) und die Signifikanz des Trends mit dem nicht-parametrischen Mann-Kendall-Test bewertet (*Mann, 1945; Kendall, 1975*). Der nicht-parametrische Signifikanztest hat den Vorteil, dass keine bestimmte Verteilungsfunktion der zu untersuchenden Zeitreihe vorliegen muss. Das Signifikanzniveau des Mann-Kendall-Tests wurde mit 5% festgelegt.

Mögliche Sprungstellen innerhalb der jährlichen Zeitreihe werden mit dem nicht-parametrischen Pettitt-Test berechnet (*Pettitt, 1979*). Wird das Signifi-

kanzniveau von 5 % unterschritten liegt eine Sprungstelle an der Stelle x vor, welche aus dem Pettitt-Test hervorgeht. Um die Instationarität aus der zu untersuchenden Zeitreihe zu entfernen, wird die Zeitreihe homogenisiert. Dazu werden jeweils die Mittelwerte vor und nach der Sprungstelle berechnet. Von den Daten vor der Sprungstelle wird der Mittelwert, der aus den Daten vor der Sprungstelle resultiert, subtrahiert und der Mittelwert, der sich aus den Daten nach der Sprungstelle ergibt, addiert.

Autokorrelationen beschreiben den linearen Zusammenhang innerhalb einer Zeitreihe und müssen vor der Trenduntersuchung entfernt werden. Dabei wird die Zeitreihe um das Zeitintervall t , auch lag genannt, verschoben und mit der Zeitreihe korreliert (*Maniak, 2016*). Autokorrelationen mit dem lag = 1 können mit dem pre-whitening über folgende Gleichung aus der Zeitreihe entfernt werden:

$$Y_T = X_t - ac(lag = 1) * X_{t-1}$$

wobei X_t der Wert der Zeitreihe zum Zeitpunkt t und X_{t-1} der Wert der Zeitreihe zum Zeitpunkt $t-1$ ist. $ac(lag=1)$ beschreibt das Ergebnis der Autokorrelationsfunktion mit dem lag = 1 (*Kulkarni und von Storch, 1995*).

Führt die Homogenisierung der Sprungstellen oder der Autokorrelationen zu negativen Werten in der Zeitreihe, wird die Homogenisierung nicht durchgeführt.

3 Ergebnisse

Das nachfolgende Beispiel (Abb. 1) zeigt die beispielhafte Homogenisierung der NM₇Q-Zeitreihe am Pegel Würzburg (Main). Die Sprungstelle wurde mit dem Pettitt-Test ermittelt und die vor der Sprungstelle befindlichen Werte im Mittelwert korrigiert. Anschließend wurden die Autokorrelationen mit dem lag = 1 aus der Zeitreihe entfernt und der Trend mittels Sen's slope estimator ermittelt. Die anschließende Überprüfung der Signifikanz des Trends ergab einen positiven nicht signifikanten Trend für den NM₇Q Wert am Pegel Würzburg von 1957 bis 2015.

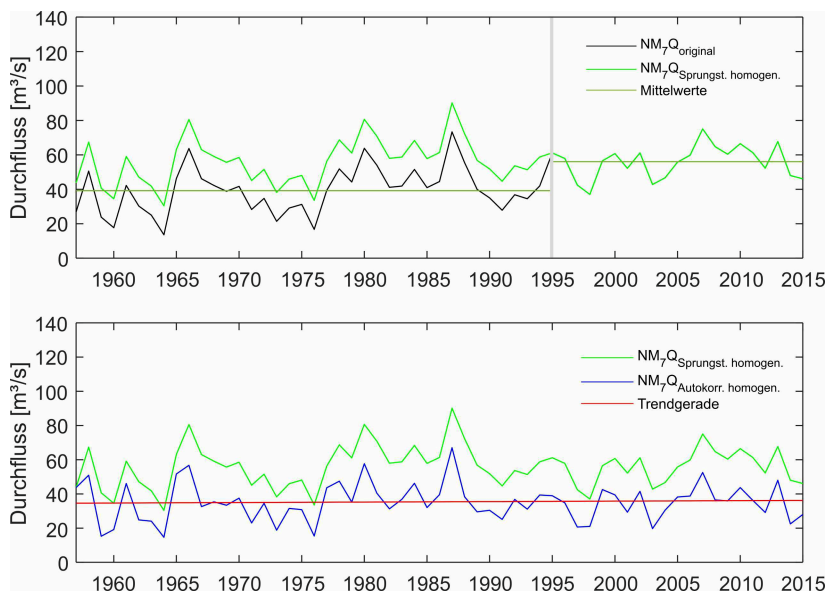


Abbildung 1: Durchführung einer Homogenisierung der Sprungstelle (oben) und der Autokorrelationen (unten) am Pegel Würzburg am Main. Die Datengrundlage ist die NM_7Q -Zeitreihe. Die Trenduntersuchung ergibt einen positiven nicht signifikanten Trend.

Die Abbildung 2 zeigt die deutschlandweiten Trends des NM_7Q von 1957 bis 2015 unter verschiedenen Grundvoraussetzungen. Bei a) wurde der Trend und dessen Signifikanz auf Grundlage der originalen NM_7Q -Zeitreihe ermittelt. Während bei b) ausschließlich die detektierte Sprungstelle bereinigt wurde, wurde bei c) ausschließlich die Autokorrelationen aus der originalen Zeitreihe entfernt. Bei d) wurden sowohl die Sprungstelle bereinigt als auch die Autokorrelationen aus den Daten entfernt.

Werden Sprungstellen und Autokorrelationen bei der Trendanalyse des NM_7Q nicht berücksichtigt (Abb. 2a) ergeben sich 80 positive Trends, von denen 20 signifikant sind, und 67 negative Trends, von denen 18 signifikant sind. Zwei Pegel haben die Steigung 0. Bei der Berücksichtigung von Sprungstellen (Abb. 2b) reduziert sich die Anzahl der signifikanten Trends rapide, während das Verhältnis zwischen positiven und negativen Trends ähnlich ist. Werden ausschließlich Autokorrelationen aus der Zeitreihe entfernt (Abb. 2c), nimmt die Anzahl der signifikanten Trends im Vergleich zur

originalen Zeitreihe nur gering ab, während die gemeinsame Entfernung von Sprungstelle und Autokorrelationen (Abb. 2d) zu einer ebenfalls deutlichen Abnahme führt. Auffällig dabei ist, dass Flüsse wie der Rhein, die Elbe, der Neckar und die Weser bei fast allen Pegeln jeweils die gleiche Trendrichtung haben. Die positiven Trends (Entspannung der Niedrigwassersituation) sind vorwiegend in der südlichen Hälfte Deutschlands zu beobachten, während die negativen Trends (Verschärfung) in der nördlichen Hälfte dominieren. Die Ergebnisse legen nahe, dass die ermittelten Trends in der originalen NM₇Q-Zeitreihe auf die in den Zeitreihen befindlichen Sprungstellen zurückgehen.

Im Nachfolgenden soll der Einfluss der Zeitreihenlänge und die Mittelung der x Tage des Niedrigwasserabflusses NM _{x} Q untersucht werden. Abbildung 3 zeigt die deutschlandweiten Trends für den NM₇Q (Abb. 3a, Abb. 3b) und für den NM₉₀Q (Abb. 3c, Abb. 3d). Dabei beträgt die Zeitreihenlänge links 57 Jahre (1957 bis 2015) (Abb. 3a, Abb. 3c) und rechts 30 Jahre (1986 bis 2015) (Abb. 3b, Abb. 3d). Aus den NM _{x} Q-Zeitreihen wurden zuvor vorhandene Autokorrelationen und Sprungstellen entfernt. Die Anzahl der nicht signifikanten Trends ist in allen Varianten sehr gering. Die Trendrichtung ist aber zwischen dem NM₇Q und dem NM₉₀Q verschieden. So ist der Anteil an negativen Trends bei dem NM₉₀Q größer. Zudem nimmt die Anzahl der negativen Trends bei der kürzeren Zeitreihenlänge, vor allem im Süden aber auch im Westen Deutschlands zu. Die Zunahme an negativen Trends in der kürzeren Zeitreihe kann als eine Verschärfung der Niedrigwassersituation angesehen werden. Die verschärfte Situation bei dem NM₉₀Q gegenüber dem NM₇Q kann darauf schließen lassen, dass die kürzeren intensiveren Spitzen im Jahr nicht so stark zunehmen wie die länger anhaltenden niedrigen Durchflussmengen. Gerade eine Verschärfung von langanhaltenden niedrigen Durchflussmengen gilt es zu untersuchen, da die Schäden hieraus gravierender sein können.

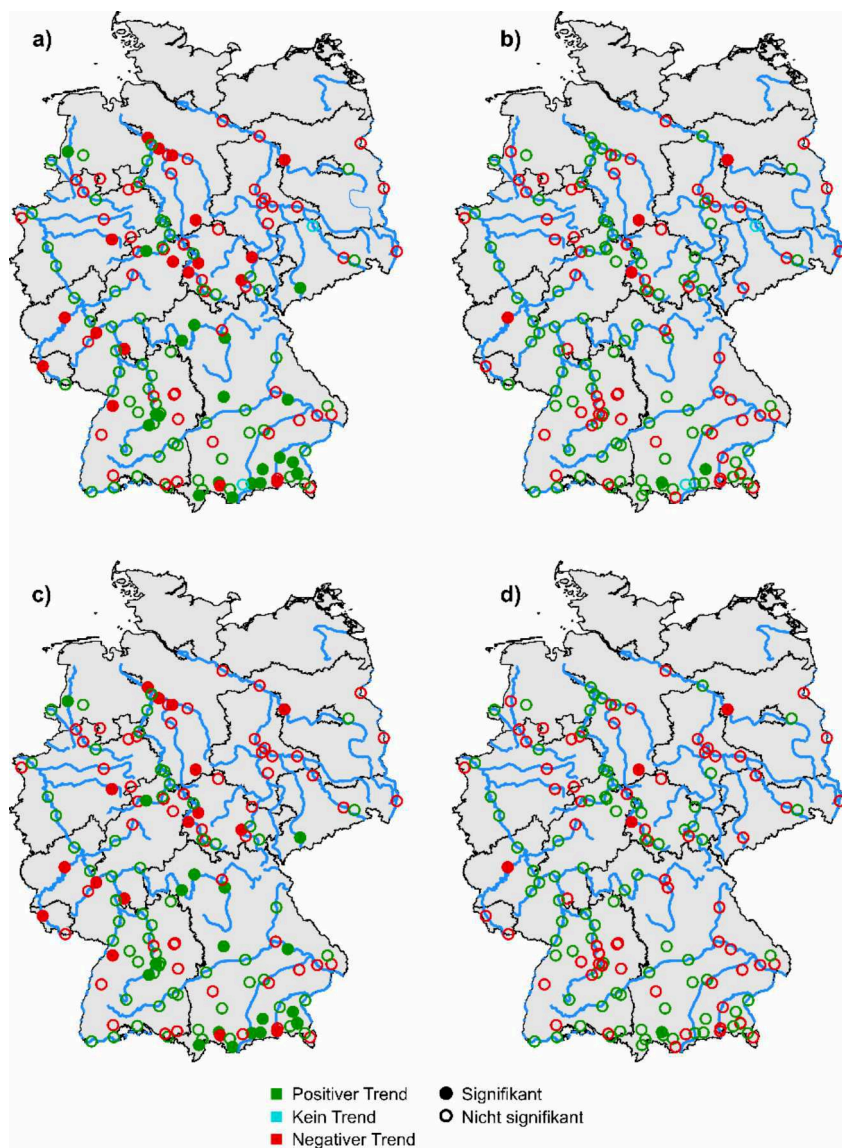


Abbildung 2: Darstellung der NM₇Q Trends von 1957 bis 2015 mit a) originaler NM₇Q-Zeitreihe, b) bereinigter Sprungstelle, c) bereinigten Autokorrelationen und d) bereinigter Sprungstelle und Autokorrelationen

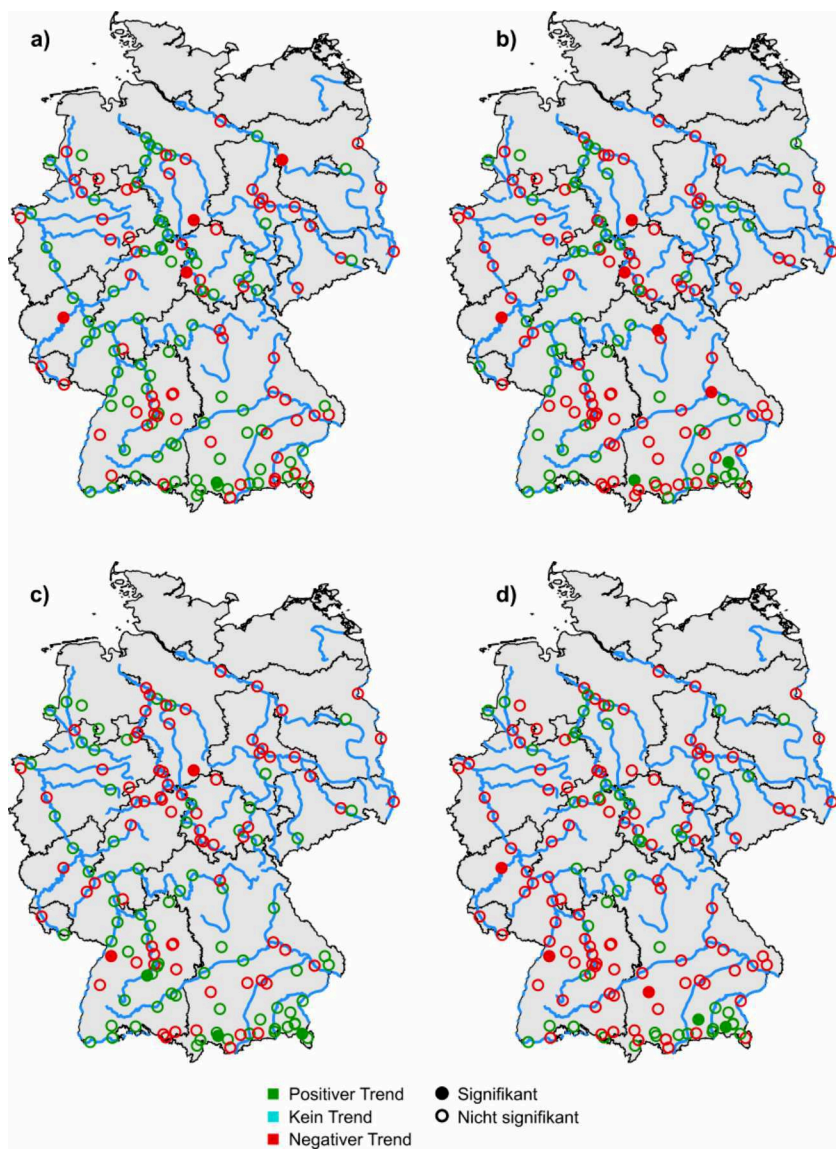


Abbildung 3: Darstellung der Trends des a) NM_7Q von 1957 bis 2015, b) NM_7Q von 1986 bis 2015, c) $NM_{90}Q$ von 1957 bis 2015 und d) $NM_{90}Q$ von 1986 bis 2015

Als nächstes soll die Trendrichtung des NM₇Q Trends für den gesamten (58 Jahre) und den gekürzten Zeitraum (30 Jahre) an der Donau, an der Elbe, am Main, am Neckar, am Rhein und an der Weser untersucht werden. An diesen Flüssen liegen für die Untersuchung jeweils mehrere Pegel vor. Die Abbildung 4 beschreibt die Trendstärke, d.h. die Steigung der Trendgeraden, normiert mit MQ der Abflusszeitreihe des Pegels. Zuvor sind Sprungstellen und Autokorrelationen entfernt worden. Da Zusammenhänge zwischen den einzelnen Pegeln eines Flusses bestehen, werden die Trendstärken eines Flusses separat voneinander betrachtet und nicht miteinander kombiniert. Auffällig sind die negativen Steigungen an der Donau für die kurze Zeitreihe. Diese liegen konstant über alle Einzugsgebietsgrößen vor. Am Main ist ein Verlauf von negativen Trends bei kleineren Einzugsgebieten hin zu positiven Trends bei größeren erkennbar. Ansonsten ist ein relativ konstantes Verhalten der Trendstärke über die Einzugsgebietsgröße zu verzeichnen. Es gibt aber auch Abweichungen bei einzelnen Pegeln eines Flusses.

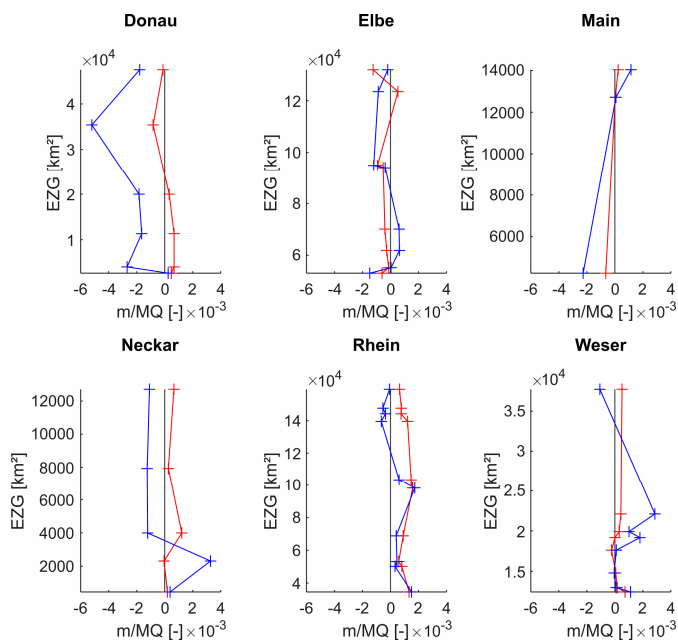


Abbildung 4: Darstellung der Steigung der Trendgeraden normiert mit MQ an ausgewählten Flüssen in Deutschland von 1957 bis 2015 (rot) und von 1986 bis 2015 (blau) in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße des jeweiligen Pegels

4 Fazit und Ausblick

Sowohl die NM_7Q als auch die $NM_{90}Q$ -Zeitreihen der 149 ausgewählten Pegel in Deutschland wurden hinsichtlich vorhandener Trends untersucht. Die Beachtung vor allem der Sprungstellen ist hierbei wichtig, da der Mann-Kendall-Test ansonsten fälschlicherweise einen Trend detektieren könnte. Autokorrelationen sollten ebenfalls beachtet werden, haben aber weniger Einfluss auf die Signifikanz der Trends. Aus den durchgeführten Trenduntersuchungen ergeben sich keine klaren räumlichen Muster, die auf eine Entspannung oder Verschärfung der Niedrigwassersituation in bestimmten Regionen Deutschlands schließen lassen. Es sind kaum signifikante Trends vorhanden, wodurch eine Verschärfung der Niedrigwassersituation mit den angenommenen Voraussetzungen nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte.

Es ist anzunehmen, dass die Niedrigwasseraufhöhung durch Talsperren die Niedrigwassersituation in bestimmten Bereichen beeinflusst, was Auswirkungen auf die ermittelten Trends und deren Signifikanz haben kann. Der Einfluss von Talsperren auf die Niedrigwasserstatistik wird Teil weitergehender Untersuchungen sein. Zudem stehen die Trendanalysen von weiteren Niedrigwasserkennwerten aus, welche in der nächsten Zeit publiziert werden.

5 Literatur

- Bormann, H; Pinter N (2017): Trends in low flows of German rivers since 1950: Comparability of different low-flow indicators and their spatial patterns. *River Research and Applications* 33: 1191–1204. 2017
- DVWK (1983): DVWK-Regel 120 - 1983 Niedrigwasseranalyse, Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses, Hennef. 1983
- Hellwig, J (2019): Grundwasserdürren in Deutschland von 1970 bis 2018. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 12: 567–572. 2019
- Kendall, M G (1975): Rank correlation methods. Griffin, 4. ed., 2. impr, London. 1975
- KLIWA (2018): Niedrigwasser in Süddeutschland. Analysen, Szenarien und Handlungsempfehlungen. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg; Bayerisches Landesamt für Umwelt, Karlsruhe 2018
- Kulkarni, A; von Storch, H (1995): Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann-Kendall test of trend. *Meteorologische Zeitschrift* 4: 82–85. 1995

- Maniak, U (2016): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2016
- Mann, H B (1945): Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13: 245. 1945
- Pettitt, A N (1979): A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* 28: 126–135. 1979
- Sen, P K (1968): Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379–1389. 1968
- Smakhtin, V U (2001): Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240: 147–186. 2001

Autoren:

Florian Oestermann, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Mudersbach

Lehrgebiet Wasserbau und
Hydromechanik
Hochschule Bochum
Am Hochschulcampus 1
44801 Bochum

Lehrgebiet Wasserbau und
Hydromechanik
Hochschule Bochum
Am Hochschulcampus 1
44801 Bochum

Tel.: +49 234 32 10274
E-Mail: florian.oestermann@hs-
bochum.de

Tel.: +49 234 32 10249
E-Mail: christoph.mudersbach@hs-
bochum.de